

## ANALISA PENGGUNAAN BAHAN FIBER CARBON LAPISAN PENAHAN PANAS PADA *NOZZLE PULSE JET* UNTUK MENINGKATKAN GAYA DORONG

Riyan Ardi<sup>1</sup>, Moch. Ma'ruf<sup>2</sup>, S Iman Santoso<sup>3</sup>

### Abstraksi

*Pulse jet* merupakan sebuah mesin yang menggunakan prinsip pembakaran berselang (mati-hidup) atau disebut juga (*intermitten combustion*). *Pulse jet* dapat digunakan sebagai *engine* roket. Fiber carbon (serat karbon) sebagai material penahan panas terbaik berfungsi sebagai penahan panas agar tidak terjadi transfer panas yang berlebihan pada *chamber* dan *nozzle* terhadap body roket. Metode penelitian ini dilaksanakan dengan cara memvariasikan interval waktu sebanyak 5 (lima) kali percobaan untuk mendapatkan temperatur gas, temperatur udara luar dan beda ketinggian fluida yang dihasilkan untuk menghitung pengaruh perubahan laju perpindahan panas dan perubahan gaya dorong *pulse jet* sebelum dan sesudah dilapisi bahan isolator *fiber carbon* (serat karbon). Hasil dari penelitian dan pengolahan data, diperoleh dengan laju energi kalor ( $Q$ ) dan gaya dorong ( $F$ ) pada *pulse jet* mengalami peningkatan setiap terjadi kenaikan temperatur gas. Pada interval waktu 3-12 detik terjadi peningkatan laju energi kalor ( $Q$ ) dari 81,552 kW – 129,202 kW dan gaya dorong ( $F$ ) dari 93,749055 N – 95,0765281 N tanpa menggunakan isolator *fiber carbon* (serat karbon). Sedangkan pada interval waktu 3-12 detik dengan menggunakan isolator *fiber carbon* (serat karbon) terjadi peningkatan laju energi kalor ( $Q$ ) dari 95,558 kW – 194,995 kW dan gaya dorong ( $F$ ) dari 94,9659053 N – 96,625246 N dan mengalami efisiensi 14,664% - 33,734%. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa pengaruh *fiber carbon* (serat karbon) sangat besar terhadap kinerja *pulse jet* pada *chamber* dan *nozzle*, yang dapat meningkatkan laju energi kalor dan gaya dorong *pulse jet*.

**Kata Kunci** : *Pulse Jet, Chamber Dan Nozzle Roket, Fiber Carbon*

### PENDAHULUAN

Penelitian tentang roket dilakukan oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) untuk mendapat kinerja roket yang maksimal. Roket terbagi menjadi beberapa bagian yaitu, *payload system*, *guidance system*, *structure system*, dan *propulsion system*. Keempat sistem tersebut memiliki fungsi dan tugas masing-masing yang semuanya berperan serta pada kinerja suatu roket. Salah satu bagian yang paling penting adalah *propulsion system*, pada bagian ini terdiri atas *fuel*, *oxidizer*, *pump*, dan *nozzle*.

*Pulse jet* merupakan sebuah mesin yang menggunakan prinsip pembakaran berselang (mati-hidup) atau disebut juga (*intermitten combustion*). *Pulse jet* dapat

digunakan sebagai *engine* roket. Tetapi permasalahannya *chamber* dan *nozzle pulse jet* memiliki temperatur yang tinggi, akibat proses pembakaran terjadi transfer panas pada *chamber* dan *nozzle pulse jet* ke body lainnya sehingga akan lebih mudah rusak.

Salah satu cara untuk mengurangi terjadinya transfer panas yang berlebihan pada *chamber* dan *nozzle* terhadap body roket akibat proses pembakaran, digunakan lapisan penahan panas pada *chamber* dan *nozzle pulse jet*. Material yang digunakan adalah fiber carbon (serat karbon), dampaknya dapat meningkatkan temperatur pada ruang bakar sehingga dapat meningkatkan gaya dorong yang dihasilkan. Selain itu fiber carbon mempunyai sifat ringan dan kuat.

Masalah yang dirumuskan dalam penelitian ini antara lain:

- Bagaimana pengaruh perubahan laju perpindahan panas pada *chamber* dan *nozzle pulse jet* sebelum dan sesudah dilapisi bahan isolator fiber carbon ?
- Berap besarnya perubahan gaya dorong *pulse jet* sebelum dan sesudah dilapisi bahan isolator Fiber Carbon ?

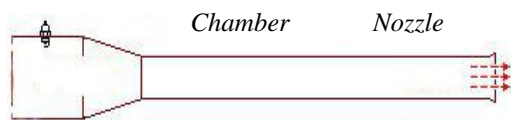
Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Tidak membahas perencanaan pembuatan *chamber* dan *nozzle pulse jet*.
- Hanya menghitung gaya dorong yang dihasilkan *pulse jet* sebelum dan setelah dilapisi bahan isolator fiber karbon.

## KAJIAN PUSTAKA

### *Chamber dan Nozzle Roket*

*Chamber* merupakan tempat untuk isian dorong pada roket. *Nozzle* adalah sebagai tempat keluarnya gas yang dihasilkan dari pembakaran propelan untuk meningkatkan dan mempercepat semburan gas yang keluar untuk menghasilkan gaya dorong pada roket.

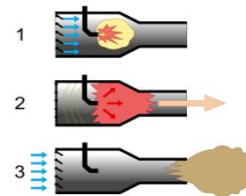


Gambar 1. *Chamber dan Nozzel*  
(:<http://surya869226.wordpress.com/pulse-jet-engine>)

### *Pulse Jet Engine*

Merupakan sebuah mesin yang menggunakan prinsip pembakaran berselang (mati-hidup) atau disebut juga (*intermitten combustion*) dan tidak seperti *ramjet, pulse*

*jet* dapat beroperasi pada *static condition* (diam). Komponen utama pulse jet engine terdiri dari tiga bagian yaitu *chamber* dan *nozzle*, tabung bahan bakar, dan pemantik (busi). Cara kerja *engine* ini adalah udara masuk melalui *inlet valve* yang terbuka karena gaya spring menuju *combustion chamber*. Di dalam *combustion chamber* udara dan bahan bakar yang telah diinjeksikan dibakar sehingga tekanan udara naik yang mengakibatkan *inlet valve* tertutup karena gaya spring kalah. Saat pembakaran mati tekanan udara turun maka *valve* terbuka sehingga udara dari luar masuk melalui *inlet valve* dan mendorong hasil pembakaran kebelakang melalui *exhaust* dan menghasilkan *thrust*. Di bawah ini adalah gambar dari sistem kerja *pulse jet engine*.



Gambar 2. *Sistem Kerja Pulse Jet Engine*  
(<http://surya869226.wordpress.com/pulse-jet-engine>)

### *Fiber Carbon (Serat Karbon)*

Fiber carbon (serat karbon) sebagai material penahan panas terbaik yang berfungsi menahan panas. Memiliki kekuatan yang jauh lebih baik dibanding serat kaca tetapi biaya produksinya lebih mahal. Komposit dari serat karbon memiliki sifat ringan dan juga kuat.

### *Energi Kalor*

Kalor dapat diketahui dengan melihat akibat yang ditimbulkan pada suatu benda,

misalnya suhunya naik. Tingkat energi kalor suatu benda diindikasikan dengan temperatur benda tersebut.

Untuk laju dari energi kalor sendiri dapat dinyatakan sebagai berikut (JP. Holman, 1988):

$$Q_p = \dot{m}_{bb} \cdot C_p (T_1 - T_2) \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

$Q_p$  = Laju energi kalor (kW)

$\dot{m}_{bb}$  = Laju aliran massa bahan bakar(kg/dtk)

$C_p$  = kalor jenis(kJ/kg°C)

Sedangkan untuk mengetahui laju aliran massa bahan bakar menggunakan persamaan (Munson, 2010) :

$$\dot{m}_{bb} = \rho \cdot v \cdot A \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

$\dot{m}_{bb}$  =Laju aliran massa bahan bakar (kg/dtk)

$\rho_{Pertamax}$  =Berat jenis pertamax (770 kg/m<sup>3</sup>)

$v$  =Kecepatan semburan (m/s)

$A$  =Luas penampang *nozzle* (m<sup>2</sup>)

Besarnya kecepatan semburan gas hasil pembakaran dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Munson, 2010) :

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \dots\dots\dots(3)$$

$$v^2 = \frac{2 P}{\rho} \dots\dots\dots(4)$$

$$v = \sqrt{\frac{2 P}{\rho}} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

$P$  = Tekanan yang dihasilkan (N/m<sup>2</sup>)

$\rho$  = Berat jenis gas (kg/m<sup>3</sup>)

**Persamaan Bernoulli**

Besar tekanan yang dihasilkan di ruang bakar menggunakan persamaan *bernoulli* sebagai berikut : *balance* tekanan,

$$P_g = (\rho_{air\ raksa} \cdot g \cdot \Delta h) + P_{am} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

$P_g$  = Tekanan gas (N/m<sup>2</sup>)

$\rho_{air\ raksa}$  = Berat jenis air (13600 kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = Gravitasi (9,8 m/dt<sup>2</sup>)

$\Delta h$  = Beda ketinggian air raksa (m)

**Gaya Dorong Yang Dihasilkan**

Besarnya Gaya dorong gas yang dihasilkan dari *Pulse Jet* adalah :

$$F = P \cdot A \dots\dots\dots(7)$$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \dots\dots\dots(8)$$

Dimana:

$d$  = Diameter dalam pipa (m)

$A$  = Luas penampang *nozzle* (m)

$P$  = Tekanan yang dihasilkan (Pa)

$F$  = Gaya dorong (N)

**Perpindahan Panas**

Perpindahan panas dapat diketahui melalui perubahan temperatur.

a. Konduksi

$$Q_k = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot K}{\ln(r_2/r_1)} (T_1 - T_2) \dots\dots\dots(9)$$

b. Konveksi

$$Q_{Konv} = hc A dT \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

$Q_k$  =Laju perpindahan kalor konduksi (J/s)

$K$  =Konduktivitas termal bahan (W/mK)

$\Delta T$  =Perbedaan temperatur (K)

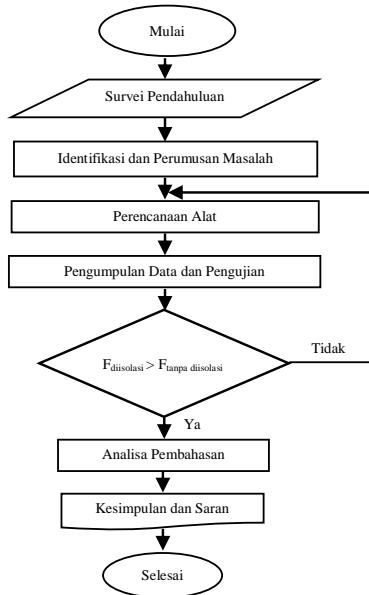
$L$  =Panjang batang (m)

$Q_v$  =Laju perpindahan panas konveksi (J/s)

$Hc$  =Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m<sup>2</sup>K)

## METODOLOGI

### Diagram Alir



### Variable Penelitian

Dalam penelitian ini penulis menggunakan beberapa variabel, yaitu :

a. Variabel bebas, diantaranya :

1. Diameter *chamber*.
2. Waktu habis bahan bakar.

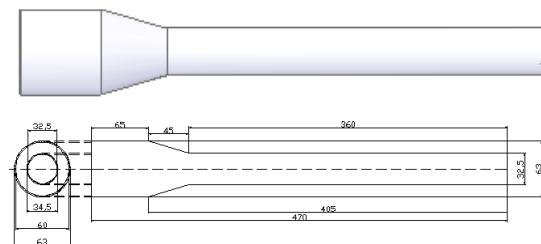
b. Variabel terikat.

Variabel terikat, variabel yang besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Dalam perencanaan ini variabel terikatnya adalah :

1. Suhu yang dihasilkan.
2. Tekanan yang dihasilkan.
3. Bahan bakar yang dihabiskan.

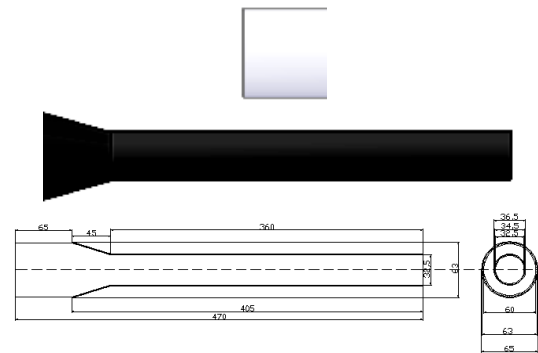
### Rancangan Alat

#### *Chamber dan nozzle pulse jet*



Gambar 3. *Chamber dan Nozzle Pulse Jet*

#### *Chamber dan nozzle pulse jet setelah dilapisi fiber carbon*



Gambar 4. **Lapisan Fiber Carbon**

#### **Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian**

a. Alat yang digunakan pada analisa penggunaan bahan fiber carbon untuk lapisan *chamber* dan *nozzle pulse jet* adalah:

1. Pemotong fiber.
2. *Thermocouple*.
3. *Stopwatch*.
4. *Mikrometer*/penggaris.
5. *pulse jet*.
6. Kompresor.

b. Bahan yang digunakan pada analisa penggunaan bahan fiber carbon untuk lapisan *chamber* dan *nozzle pulse jet* adalah:

1. Fiber carbon.
2. Lem epoxy.
3. Penjepit fiber carbon.
4. Pertamina 92.

#### **Prosedur Pengambilan Data**

Prosedur pengambilan data pada penelitian ini sebagai berikut:

- a. Siapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
- b. Menyiapkan fiber carbon yang sudah dipotong sesuai dengan ukuran pada *chamber*.

- c. Fiber carbon dilapisi pada *chamber* dan *nozzle*, dipastikan tidak lepas saat terjadinya proses pembakaran.
- d. Pada saat mesin dinyalakan terjadi pembakaran dalam *chamber* dan *nozzle*, lakukan pengukuran temperatur gas pada pembakaran, temperatur dinding luar *nozzle* maupun fiber karbon dan temperatur udara luar.
- e. Lakukan pengukuran beda ketinggian fluida untuk menghitung tekanan yang dihasil dari pembakaran *pulse jet*.
- f. Lakukan pengukuran temperatur dan beda ketinggian fluida dengan interval waktu yang sama sebanyak 5 (lima) kali pengukuran.
- g. Catat hasil pengukuran yang dilakukan.
- h. Lakukan juga pengukuran temperatur gas, temperatur udara luar dan beda ketinggian fluida yang dihasilkan pada saat *chamber* dan *nozzle* tidak dilapisi fiber carbon.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Pengumpulan Data**

- a. Data *chamber* dan *nozzle* :
  1. Panjang *chamber* dan *nozzle* ( $L$ ) : 470 mm
  2. Berat *chamber* dan *nozzle* ( $m$ ) : 0,251 kg
  3. Diameter *nozzle* ( $d_n$ ) : 0,0325 m
  4. Tebal *nozzle* ( $t_n$ ) : 0,001 m
  5. Tebal *Chamber* ( $t_c$ ) : 0,0015 m
  6. Bahan : SS 309
  7. Konduktivitas thermal ( $k$ ) : 18,7c W/m<sup>0</sup>k
- b. Data *fiber carbon* (serat karbon) :
  1. Jenis : Twill 2x2
  2. Konduktivitas thermal ( $k$ ) : 8,5 W/m<sup>0</sup>k
  3. Tebal fiber karbon ( $t_f$ ) : 0,001 m
  4. Berat fiber karbon ( $m$ ) : 0,03498 kg

Dari hasil pengujian temperatur ruang bakar, *nozzle* dan beda ketinggian fluida pada tekanan *pulse jet* tanpa dilapisi bahan isolator (fiber karbon) sebanyak 3 kali percobaan dengan suhu awal 28<sup>0</sup>C, sehingga diperoleh data pada tabel 1.

**Tabel 1. Data Rata-rata Temperatur Ruang Bakar *Pulse Jet* dan *Nozzle* Tanpa Isolator**

No	Interval Waktu Bakar (detik)	Temperatur (°K)		Perbedaan Temperatur (°K)	Temperatur <i>Nozzle</i> (°K)
		Gas	Luar		
1	3	552	301	251	402
2	6	617	301	316	428
3	9	684	301	383	455
4	12	750	301	449	500

**Tabel 2. Data Rata-Rata Beda Ketinggian Fluida Pada Tekanan *Pulse Jet* Tanpa Isolator**

No	Interval Waktu Bakar (detik)	ΔH Fluida (m)	Ket
1	3	0,088	-
2	6	0,09	-
3	9	0,096	-
4	12	0,1	-

**Tabel 3. Data Rata-Rata Temperatur Ruang Bakar *Pulse Jet* Dengan Dilapisi Bahan Isolator**

No	Interval Waktu Bakar (detik)	Temperatur (°K)		Perbedaan Temperatur (°K)	Temperatur Bahan Isolator (°K)
		Gas	Luar		
1	3	605	301	304	353
2	6	720	301	419	382
3	9	899	301	598	418
4	12	1046	301	745	463

**Tabel 4. Data Rata-Rata Beda Ketinggian Fluida Pada Tekanan *Pulse Jet* Dengan Dilapisi Bahan Isolator**

No	Interval Waktu Bakar (detik)	ΔH Fluida (m)	Ket
1	3	0,099	-
2	6	0,102	-
3	9	0,109	-
4	12	0,114	-

**Analisa Perhitungan**

- a. Analisa perhitungan laju energi kalor pembakaran pada *pulse jet* sebelum dan

setelah dilapisi bahan isolator *fiber carbon*.

(1) pada waktu 3 detik, yaitu :

$$Q_p = \dot{m}_{bb} \cdot C_p (T_g - T_u)$$

Dimana :

$$\dot{m}_{bb} = \rho \cdot v \cdot A$$

$$= \rho \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_g}{\rho}} \cdot A$$

Untuk nilai  $P_g$  dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_g = \rho_{air \text{ raksa}} \cdot g \cdot \Delta h + P_{atm}$$

$$\rho_{ar} = 13600 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$P_{atm} = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 101325 \text{ N/m}^2$$

jadi,

$$P_g = (13600 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,088 \text{ m}) + 101325 \text{ N/m}^2$$

$$= 11740,6 \text{ N/m}^2 + 101325 \text{ N/m}^2$$

$$= 113065,608 \text{ N/m}^2 = 1,131 \text{ Bar}$$

Untuk nilai  $\rho_g$  didapat dari interpolasi tabel *thermodynamic properties of gases* buku *basic heat transfer*, Frank Kreith, Wiliam Z Black, halaman 520 yaitu :

Temperatur Gas (°K)	$\rho_g$ (kg/m <sup>3</sup> )
473	0,723
552	$\rho_g$
573	0,596

$$\rho_g = \left( \frac{552 - 473}{573 - 552} \right) (0,596 - 0,723) + 0,723$$

$$= 0,623 \text{ kg/m}^3$$

Sehingga  $\dot{m}$  dapat dihitung, yaitu :

$$\dot{m}_{bb} = \rho_g \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_g}{\rho}} \cdot A$$

$$= 0,623 \text{ kg/m}^3 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 113065,608 \text{ N/m}^2}{0,623 \text{ kg/m}^3}}$$

$$\cdot \frac{3,14}{4} (0,0325 \text{ m})^2 = 0,311 \text{ kg/s}$$

Dengan cara yang sama untuk nilai  $C_p$  didapat dari interpolasi tabel *thermodynamic properties of gases* buku *basic heat transfer*, Frank kreith, wiliam Z.Black, halaman 520 :

Temperatur Gas (°C)	$C_p$ (kJ/kg.K)
473	1,035
552	$C_p$
573	1,047

$$C_p = \left( \frac{279 - 200}{300 - 200} \right) (1,047 - 1,035) +$$

$$1,035$$

$$= 1,044 \text{ kJ/kg.K}$$

Jadi laju energi kalor pembakaran pada *pulse jet* sebelum dilapisi bahan isolator *fiber carbon* yaitu :

$$Q_p = 0,311 \text{ kg/s} \cdot 1,044 \text{ kJ/kg.K} (552^\circ\text{K} - 301^\circ\text{K}) = 81,552 \text{ kW}$$

b. Untuk menentukan besarnya gaya dorong yang dihasilkan *Pulse jet* sebelum dilapisi bahan isolator fiber carbon pada waktu 3 detik yaitu :

$$F = P \cdot A$$

$$= P_g \cdot A$$

$$= 113065,608 \text{ N/m}^2 \cdot \frac{3,14}{4} (0,0325 \text{ m})^2$$

$$= 93,7490555 \text{ N}$$

c. Untuk menentukan besarnya laju energi kalor yang hilang pada *pulse jet* sebelum dilapisi bahan isolator *fiber carbon* pada waktu 3 detik, yaitu :

$$Q_h = \frac{T_g - T_u}{\frac{1}{h_{cg} \cdot A_d} + \frac{l_n \left( \frac{r_l}{r_d} \right)}{2\pi KL} + \frac{1}{h_{cu} \cdot A_l}}$$

Untuk nilai  $h_{cg}$  dapat dihitung dengan persamaan :

$$h_{cg} = \frac{N_u \cdot k}{d_i}$$

$$N_u = C \cdot R_e^n \cdot P_r^{1/3}$$

Untuk bilangan Reynold sendiri, yaitu :

$$R_e = \frac{\rho_g \cdot v_g \cdot d_i}{\mu_g}$$

Untuk  $\rho_g$ ,  $\mu_g$ ,  $P_r$  dan  $k$  didapat dari interpolasi tabel *thermodynamic properties of gases* buku *basic heat transfer*, Frank Kreith, halaman 52 yaitu dengan cara interpolasi didapat :

Temperatur Gas (°C)	$\rho_g$ (kg/m <sup>3</sup> )	k (W/m.K)	$\mu_g$ (N.s/m <sup>2</sup> )	$P_r$
473	0,723	0,0370	25,693 .10 <sup>-6</sup>	0,71
552	$\rho_g$	K	$\mu_g$	$P_r$
573	0,596	0,0429	39,322 .10 <sup>-6</sup>	0,71

$$\rho_g = 0,623 \text{ kg/m}^3$$

$$k = 0,042 \text{ W/m.K}$$

$$\mu_g = 28,56 \cdot 10^{-6} \text{ (N.s/m}^2\text{)}$$

$$P_r = 0,71$$

Dari perhitungan sebelumnya didapat nilai  $v_g$  sebesar 602,471 m/s, dan dari data pengukuran didapat nilai  $d_i$  sebesar 0,0325 m sehingga dapat diketahui nilai  $R_e$  sebagai berikut :

$$\begin{aligned} R_e &= \frac{\rho_g \cdot v_g \cdot d_i}{\mu_g} \\ &= \frac{0,623 \text{ kg/m}^3 \cdot 602,471 \text{ m/s} \cdot 0,0325}{28,56 \cdot 10^{-6} \text{ (N.s/m}^2\text{)}} \\ &= 12140,268 \end{aligned}$$

Dari besarnya bilangan Reynold maka nilai  $C = 0,193$  dan pangkat ( $n$ ) = 0,618 dilihat pada tabel 5-2 *constants for use with* Eq. 5-26. Sehingga besarnya  $N_u$ , yaitu :

$$\begin{aligned} N_u &= C \cdot R_e^n \cdot P_r^{1/3} \\ &= 0,193 \cdot (12140,268^{0,618}) \cdot 0,71 \\ &= 57,548 \end{aligned}$$

Sehingga  $h_{cg}$  dapat dihitung, yaitu :

$$\begin{aligned} h_{cg} &= \frac{N_u \cdot k}{d_i} = \frac{57,548 \cdot 0,042 \text{ W/m.K}}{0,0325 \text{ m}} \\ &= 74,37 \text{ W/m}^2\text{K} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk nilai  $h_{cu}$  dapat dihitung dengan persamaan :

$$h_{cu} = \frac{N_u \cdot k}{d_i} \quad Nu = 0,53 \cdot (Gr_D Pr_f)^{0,25}$$

Untuk besarnya ( $Gr_D Pr_f$ ) sendiri, yaitu :

$$Gr_D Pr_f = \frac{g\beta(T_0 - T_i)D^3 Pr}{v^2}$$

Untuk  $\frac{g\beta}{v^2}$ ,  $P_r$  dan  $k$  didapat dari interpolasi tabel *thermodynamic properties of gases* buku *basic heat transfer*, Frank Kreith, William Z Black, halaman 520 yaitu :

Temperatur Dinding Nozzle (°K)	$\frac{g\beta}{v^2}$ (kg/m <sup>3</sup> )	k (W/m.K)	$P_r$
373	0,472	0,0307	0,71
402	$\rho_g$	K	$P_r$
473	0,164	0,0370	0,71

Dengan cara interpolasi yang sama didapat harga :

$$\frac{g\beta}{v^2} = 0,383 \cdot 10^8 \text{ 1/K.m}^3$$

$$k = 0,033 \text{ W/m.K} \quad P_r = 0,71$$

Dari data pengujian didapat nilai temperatur dinding *nozzle* sebesar 402<sup>0</sup>K, dan nilai temperatur udara sebesar 301<sup>0</sup>K sehingga dapat diketahui nilai  $Gr_D Pr_f$ ,  $N_u$  dan  $h_{cu}$  sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Gr_D Pr_f &= \frac{g\beta(T_0 - T_i)D^3 Pr}{v^2} \\ &= \frac{0,383 \cdot 1081 / \text{K.m}^3 \cdot 402^\circ\text{K} - 301^\circ\text{K}}{0,03453 \cdot 0,71} \\ &= 112780,9586 \\ N_u &= 0,53 \cdot (112780,9586)^{0,25} = 9,713 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
h_{cu} &= \frac{N_u \cdot k}{d_i} \\
&= \frac{9,713 \cdot 0,033 \text{ W/m.K}}{0,0345 \text{ m}} \\
&= 9,29 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}
\end{aligned}$$

Kemudian untuk besarnya nilai  $A_d$  dan  $A_l$  dihitung dengan persamaan (18) didapat :

$$\begin{aligned}
A_d &= 2 \pi r_d L \\
&= 2,3,14 \cdot 0,01625 \text{ m} \cdot 0,36 \text{ m} \\
&= 0,037 \text{ m}^2 \\
A_l &= 2 \pi r_l L \\
&= 2,3,14 \cdot 0,01725 \text{ m} \cdot 0,36 \text{ m} \\
&= 0,039 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

Sehingga laju energi kalor yang hilang pada *pulse jet* sebelum dilapisi bahan isolator *fiber carbon*, yaitu :

$$\begin{aligned}
Q_h &= \frac{T_g - T_u}{\frac{1}{h_{cg} \cdot A_d} + \frac{l_n\left(\frac{r_l}{r_d}\right)}{2\pi K L} + \frac{1}{h_{cu} \cdot A_l}} \\
&= \frac{552^{\circ} \text{K} - 301^{\circ} \text{K}}{\frac{1}{74,37 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,037 \text{ m}^2} + \frac{l_n\left(\frac{0,01725 \text{ m}}{0,01625 \text{ m}}\right)}{2,3,14 \cdot 18,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,36 \text{ m}} + \frac{1}{9,29 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,039 \text{ m}^2}} \\
&= 0,080256 \text{ kW}.
\end{aligned}$$

Untuk menghitung laju energi kalor yang hilang pada *pulse jet* setelah dilapisi bahan isolator *fiber carbon* menggunakan persamaan :

$$Q_h = \frac{T_g - T_u}{\frac{1}{h_{cg} \cdot A_d} + \frac{l_n\left(\frac{r_l}{r_d}\right)}{2\pi K_n L} + \frac{l_n\left(\frac{r_{fiber}}{r_l}\right)}{2\pi K_f L} + \frac{1}{h_{cu} \cdot A_l}}$$

Dari hasil pengujian menggunakan lapisan fiber karbon didapat nilai temperatur gas sebesar  $605^{\circ}\text{K}$ , temperatur fiber karbon sebesar  $353^{\circ}\text{K}$  dan temperatur luar  $301^{\circ}\text{K}$ . Sehingga dengan menggunakan cara yang sama did dapat nilai  $h_{cg}$  sebesar  $72,77 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $h_{cu}$  sebesar  $7,71 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $A_d$  sebesar  $0,037 \text{ m}^2$ ,  $A_l$  sebesar  $0,041 \text{ m}^2$  dan  $r_{fiber}$  sebesar  $0,01825 \text{ m}$ . Besarnya laju energi kalor

$$\frac{1}{h_{cg} \cdot A_d} = 0,374 \text{ W/K}$$

$$\begin{aligned}
\frac{l_n\left(\frac{r_l}{r_d}\right)}{2\pi K_n L} &= \frac{l_n\left(\frac{0,01725 \text{ m}}{0,01625 \text{ m}}\right)}{2,3,14 \cdot 18,7 \text{ W/m.K} \cdot 0,36 \text{ m}} \\
&= 0,00141 \text{ W/K}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{l_n\left(\frac{r_{fiber}}{r_l}\right)}{2\pi K_f L} &= \frac{l_n\left(\frac{0,01825 \text{ m}}{0,01725 \text{ m}}\right)}{2,3,14 \cdot 8,5 \text{ W/m.K} \cdot 0,36 \text{ m}} \\
&= 0,00293 \text{ W/K}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{1}{h_{cu} \cdot A_l} &= \frac{1}{7,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,041 \text{ m}^2} \\
&= 3,144 \text{ W/K}
\end{aligned}$$

$$Q_h = 0,0863 \text{ kW}$$

d. Analisa perhitungan laju energi kalor yang berguna sebelum dan setelah dilapisi bahan isolator fiber karbon.

$$\begin{aligned}
Q_s &= Q_p - Q_h \\
&= 81,552 \text{ kW} - 0,0803 \text{ kW} \\
&= 81,472 \text{ kW}
\end{aligned}$$

e. Analisa perhitungan efisiensi panas yg dapat ditahan oleh fiber karbon.

$$\begin{aligned}
\eta &= \left(1 - \left(\frac{Q}{Q_{isolator}}\right)\right) \cdot 100\% \\
&= \left(1 - \left(\frac{81,472 \text{ kW}}{95,472 \text{ kW}}\right)\right) \cdot 100\% = 14,664\%.
\end{aligned}$$



**Tabel Hasil Perhitungan**

**Tabel 5. Tabel Hasil Perhitungan Tanpa Isolator**

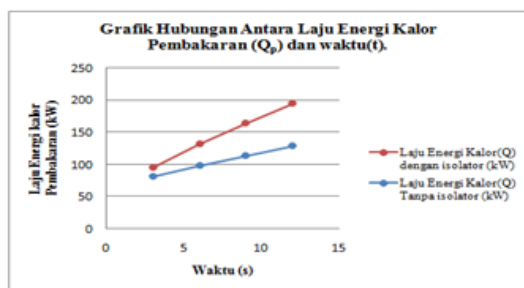
NO	Waktu (dtk)	Laju Energi Kalor ( $Q$ ) (kW)	Gaya Dorong ( $F$ ) (N)	$Q$ yang hilang (kW)	$Q$ yang berguna (kW)
1	3	81,552	93,7490555	0,0803	81,472
2	6	98,902	93,970301	0,1032	98,799
3	9	113,944	94,6340372	0,1272	113,816
4	12	129,202	95,0765281	0,1529	129,049

**Tabel 6. Tabel Hasil Perhitungan Dengan Dilapisi Bahan Isolator**

No	Waktu (dtk)	Laju Energi Kalor ( $Q$ ) (kW)	Gaya Dorong ( $F$ ) (N)	$Q$ yang hilang (kW)	$Q$ yang berguna (kW)
1	3	95,558	94,9659053	0,0863	95,472
2	6	131,536	95,2977735	0,1294	131,407
3	9	164,436	96,0721324	0,2012	164,235
4	12	194,995	96,625246	0,2503	194,744

**Tabel 7. Tabel Hasil Perhitungan Efisiensi Panas**

No	Waktu	( $Q_u$ ) tanpa isolator (kW)	( $Q_u$ ) dengan isolator (kW)	Efisiensi ( $\eta$ )(%)
1	3	81,472	95,472	14,664%
2	6	98,799	131,407	24,814%
3	9	113,816	164,235	30,699%
4	12	129,049	194,744	33,734%

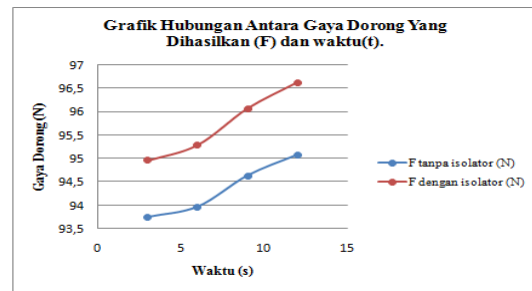


**Gambar 5. Grafik Hubungan Antara Laju Energi Kalor Pembakaran ( $Q_p$ ) Dan Waktu ( $t$ ).**

**Pembahasan**

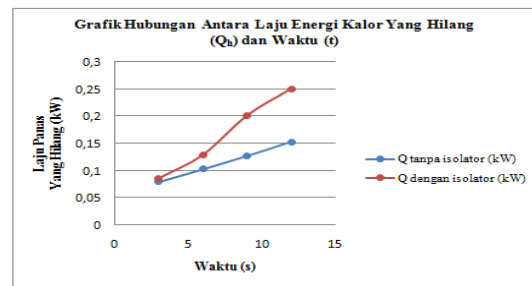
a. Pada data tabel perhitungan 5 dan 6 diatas dapat diperoleh grafik sebagai berikut. Dari gambar 5 grafik hubungan antara laju energi kalor pembakaran ( $Q_p$ ) dan waktu ( $t$ ) diatas, apabila waktu pembakaran semakin lama maka laju energi kalor pembakaran semakin naik, hal ini disebabkan karena waktu adalah fungsi dari massa.

b. Pada data tabel perhitungan 5 dan 6 diatas dapat diperoleh grafik sebagai berikut :



**Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Gaya Dorong Yang Dihasilkan ( $F$ ) Dan Waktu ( $t$ )**

Dari gambar 6 grafik hubungan antara gaya dorong yang dihasilkan ( $F$ ) dan waktu ( $t$ ) diatas, apabila waktu pembakaran semakin lama maka gaya dorong yang dihasilkan semakin naik, hal ini disebabkan karena tekanan yang dihasilkan semakin meningkat.



**Gambar 7. Grafik Hubungan Antara Laju Energi Kalor Yang Hilang ( $Q_h$ ) dan Waktu ( $t$ )**

Dari gambar 7 grafik hubungan antara laju energi kalor yang hilang ( $Q_h$ ) dan waktu ( $t$ ) diatas, apabila waktu pembakaran semakin lama maka laju energi kalor yang hilang semakin naik, hal ini disebabkan karena panas yang dihasilkan semakin meningkat sehingga energi kalor pembakaran maupun kalor yang hilang semakin meningkat juga.

## SIMPULAN

Dari hasil perhitungan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Besarnya laju energi kalor pembakaran pada *pulse jet engine* sebelum dilapisi isolator fiber karbon pada waktu 12 detik sebesar 129,202 kW, kalor yang hilang sebesar 0,1529 kW dan untuk energi kalor yang berguna sebesar 129,049 kW. Sedangkan besarnya laju energi kalor pembakaran pada *pulse jet engine* setelah dilapisi isolator fiber karbon pada waktu 12 detik sebesar 194,995 kW, kalor yang hilang sebesar 0,2503 kW dan untuk energi kalor yang berguna sebesar 194,744kW.
2. Besarnya gaya dorong pada *pulse jet engine* sebelum dilapisi bahan isolator pada waktu 12 detik sebesar 95,0765281N, besarnya gaya dorong pada *pulsejet engine* setelah dilapisi bahan isolator pada waktu 12 detik sebesar 96,625246 N.

## DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Yunus A, 2003, *Thermodynamics : An Engineering Approach*, Fifth Edition, Mc Graw-Hill Companies Inc, New York.
- Cengel, Yunus A, 2002, *Heat Transfer a Practical Approach*, 2nd Edition, Mc Graw-Hill Companies Inc, New York.
- Holman, J.P., 1988, *Heat Transfer*, Sixth Edition, Mc Graw-Hill Companies Inc, New York.
- Kreith, Frank and Z. Black, William, 1980, *Basic Heat Transfer*, New York.